

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗЕНКЕРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В СРЕДЕ SolidWorks Premium 2012

С.И. Пестрецов, А.А. Родина

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.Ю. Муромцев

**Ключевые слова и фразы:** механическая обработка материалов; процесс зенкерования.

**Аннотация:** С применением теории подобия проведено математическое моделирование процесса зенкерования и осуществлена оптимизация конструктивных параметров режущего инструмента в среде SolidWorks Premium 2012.

Рассматривается процесс зенкерования отверстия в стальной заготовке (сталь 40Х, НВ 270) цилиндрическим хвостовым зенкером с коническим хвостовиком. Зенкер выполнен цельным из быстрорежущей стали (HRC 63...66), например, марок P9 или P18.

Цилиндрический хвостовой зенкер (рис. 1) имеет: режущую часть 1, калибрующий участок 2, рабочую часть 3, шейку 4, хвостовик 5, лапку 6.

Геометрические параметры зенкера (рис. 2) приняты следующими [1]: длина зенкера  $L = 355$  мм, длина режущей части зенкера  $l = 210$  мм, наружный диаметр зенкера  $D = 50$  мм, диаметр сердцевины  $d = 40$  мм, задний угол  $\alpha = 8^\circ$  на длине 1,5 мм начала режущей части, задний угол на ос-

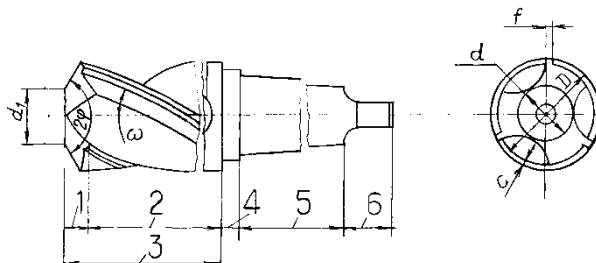


Рис. 1. Конструктивные элементы цилиндрического хвостового зенкера

Пестрецов Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», e-mail: pest@mail.ru; Родина Антонина Александровна – ассистент кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», ТамбГТУ, г. Тамбов.

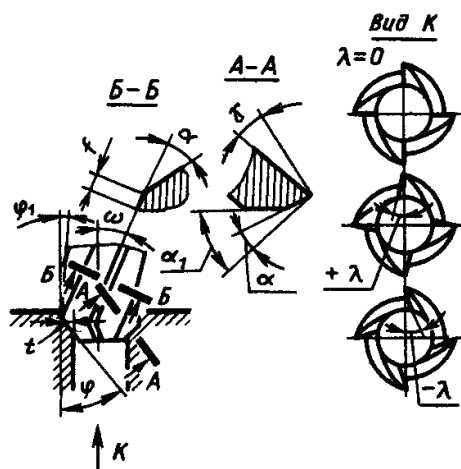


Рис. 2. Геометрические параметры зенкера

тальной длине режущей части  $\alpha_1 = 20^\circ$ , передний угол  $\gamma = 5^\circ$ , главный и вспомогательный углы в плане  $\varphi = \varphi_1 = 30^\circ$ , угол наклона стружечной канавки  $\omega = 10^\circ$ , калибрующая часть зенкера на длине вспомогательного лезвия имеет цилиндрическую ленточку  $f = 0,8$  мм, число зубьев зенкера  $z = 4$ .

Режимы резания: глубина резания  $t = 3$  мм, подача  $S = 1$  мм, скорость резания  $v = 4,6$  м/с. Крутящий момент  $M_{кр}$  и осевая сила  $P_0$ , рассчитанные по формулам [2], составляют соответственно  $M_{кр} = 1215$  Н·м,  $P_0 = 2479$  Н.

Для математического моделирования процесса зенкерования может быть применена теория подобия и построенная на ее основе математическая модель [3]. По этой модели рассчитываются составляющие силы резания, длина контакта стружки с передней поверхностью режущего инструмента, температуры в зоне резания, а также тепловые потоки в системе «заготовка – режущий инструмент – стружка». Результаты расчетов сведены в таблицу.

Для исследования напряженно-деформированного состояния зенкера в процессе его работы используется твердотельная модель режущего инструмента, выполненная в среде SolidWorks Premium 2012. Анализ действия эксплуатационных нагрузок на инструмент проводился в модуле Simulation указанного программного продукта. В результате проведения такого анализа получены распределения напряжений по телу инструмента и перемещения режущих кромок инструмента (рис. 3).

Из рисунка 3 видно, что перемещение режущих кромок зенкера составляет около 3,5 мм, что значительно превышает допустимое предельное отклонение на диаметр отверстия при зенкерование. Этот факт свидетельствует о необходимости оптимизации геометрических параметров зенкера.

С помощью модуля Simulation проводился также анализ устойчивости и частотный анализ режущего инструмента, в результате которых определялись критические нагрузки и минимальные относительные перемещения режущей кромки зенкера при определенной величине резонансной частоты. Так, анализ устойчивости (рис. 4) показывает, что при заданных условиях обработки материала режущая часть отклоняется от оси симметрии на 0,54 мм, что свидетельствует о потере устойчивости инструмента.

### Результаты расчетов по математической модели [3]

Расчетный параметр	Величина
<i>Нагрузки, действующие на зенкер</i>	
Тангенциальная составляющая силы стружкообразования $R_z$ , Н	4015
Радиальная составляющая силы стружкообразования $R_y$ , Н	487
Сила трения на передней поверхности $F_{п}$ , Н	351
Нормальная сила на передней поверхности $N$ , Н	3472
Сила трения на задней поверхности $F_1$ , Н	51149
Нормальная сила на задней поверхности $N_1$ , Н	242145
Толщина среза $a_1$ , м	0,00057
Ширина среза $b_1$ , м	0,005
Коэффициент трения на задней контактной площадке $\mu_1$	0,21
Осевая сила $P_0$ , Н	2479
Крутящий момент $M_{кр}$ , Н·м	1215
<i>Температура на передней поверхности зенкера</i>	
Максимальная температура трения на передней поверхности $\theta'_{max}$ , °С	1307
Температура в месте отрыва стружки от передней поверхности инструмента $\theta_c$ , °С	793

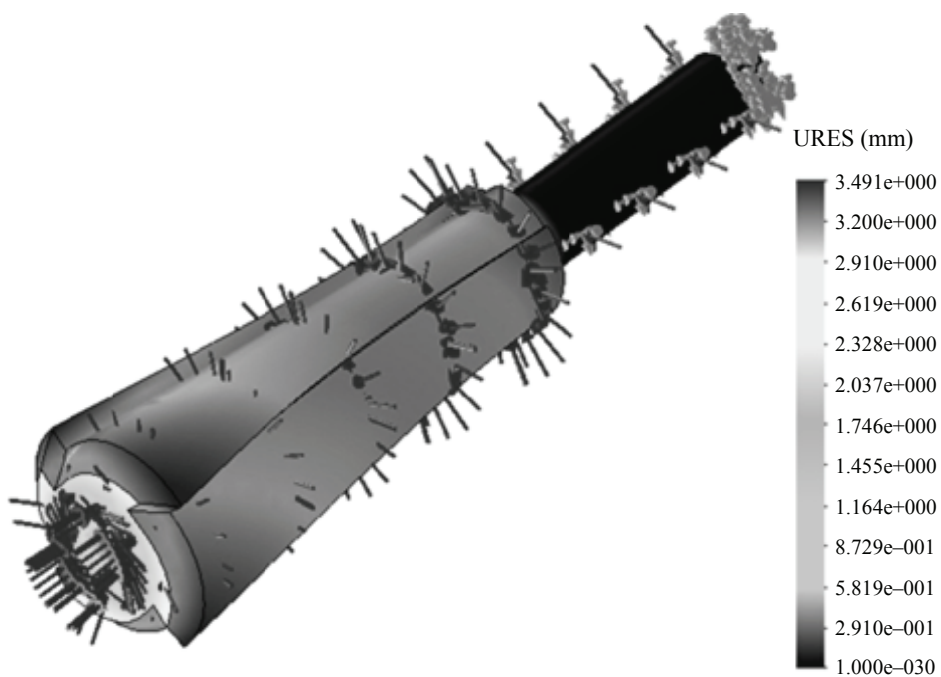
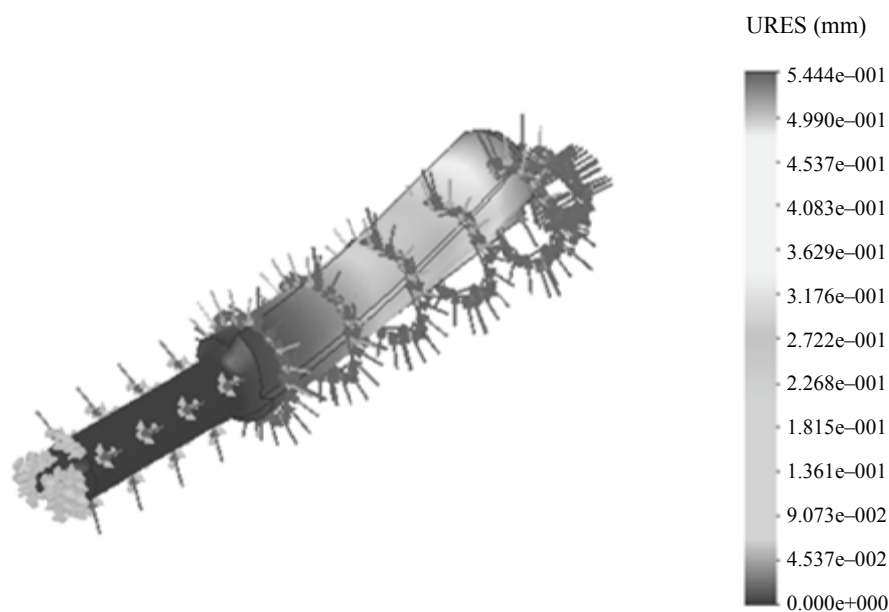


Рис. 3. Распределение перемещения режущей кромки зенкера



**Рис. 4. Результаты анализа устойчивости зенкера**

В качестве критерия оптимизации принята длина режущей части, диапазон варьирования которой выбран в пределах 105...315 мм, исходя из подбора стандартного зенкера [1]. Целевая функция определялась как минимум массы инструмента.

Оптимизация геометрических параметров зенкера в модуле Simulation, согласно принятым критерию и целевой функции, выявила, что при принятых режимах резания длина режущей части инструмента должна быть не более 105 мм. При такой конфигурации инструмент удовлетворяет параметрам прочности и жесткости, так как примерно в 1,5 раза снижаются силовые и тепловые нагрузки в системе «заготовка – режущий инструмент», что повышает стойкость инструмента, точность обработки заготовки и т.д. Так, например, стойкость зенкера, рассчитанная по уравнению стойкости [1], возрастает на 12 % по сравнению с базовым вариантом режущего инструмента и примерно на такую же величину сокращаются энергозатраты на металлообработку.

Таким образом, предлагаемый подход к моделированию и оптимизации процесса зенкерования может быть использован в учебном процессе технических вузов, готовящих специалистов в области технологии машиностроения, а также будет полезен для конструкторов и технологов, разрабатывающих новые виды инструментов и технологии металлообработки.

#### *Список литературы*

1. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 944 с.

2. Расчет режимов резания при сверлении, рассверливании, зенкеро-  
вании и развертывании [Электронный ресурс]. – Режим доступа :  
[http://osntm.narod.ru/resh\\_rez\\_os.html](http://osntm.narod.ru/resh_rez_os.html). – Загл. с экрана.

3. Мирошниченко, А.В. НИРС. Определение количества тепла, выделяемого при зенкеро-  
вании [Электронный ресурс] / А.В. Мирошниченко. – Режим доступа :  
<http://www.masters.donntu.edu.ua/2000/mehf/miroshn-nirs.htm>. – Загл. с экрана.

---

### **Mathematical Modeling of Reaming and Optimization of Geometrical Parameters of Cutting Tools in SolidWorks Premium 2012 Environment**

**S.I. Pestretsov, A.A. Rodina**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words and phrases:** mechanical processing of materials;  
the process of reaming.

**Abstract:** The mathematical modeling of reaming has been  
done using the similarity theory; optimization of the design  
parameters of the cutting tools in SolidWorks Premium 2012  
environment has been carried out.

---

© С.И. Пестрецов, А.А. Родина, 2012